Condições físicas de formação de associações metamórficas do cinturão ultramáfico Carrancas-Liberdade, MG

Soraya Almeida¹

Resumo Na região sul de Minas Gerais, dezenas de corpos ultramáficos alóctones ocorrem associados a rochas sedimentares do Ciclo Depositional Andrelândia, ao longo da zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira. Estes compõem um cinturão parcialmente inserido em terrenos do domínio tectônico da Faixa Brasília e parcialmente contidos no domínio tectônico da Faixa Ribeira. Os resultados do trabalho aqui apresentado revelam que, apesar das semelhanças existentes entre as rochas de ambos os domínios, tipos modalmente semelhantes registram diferentes histórias evolutivas. As rochas de alto grau pertencentes ao domínio da Faixa Ribeira (metapiroksenitos) revelam condições de equilíbrio sob temperaturas superiores (entre 700 e 900°C) em relação aos seus congêneres associados ao domínio tectônico da Faixa Brasília (máximo de 640°C). Estas condições contrastantes são acompanhadas por diferentes estilos de deformação. No domínio tectônico da Faixa Brasília, o pico metamórfico está associado ao crescimento de piroxênio e olivina, seguido por uma deformação que afeta as associações de alto grau de forma discreta. As principais estruturas nesta região estão associadas a uma fase retrometamórfica, representada pela formação de rochas hidratadas a partir das associações de alto grau. No domínio da Faixa Ribeira, o metamorfismo progressivo é concomitante a uma deformação intensa, indicando que o pico metamórfico coincide com o desenvolvimento das estruturas dominantes nos corpos ultramáficos.

Palavras-chave: rochas ultramáficas, geotermobarometria, metamorfismo.

Abstract *Physical conditions of metamorphic associations of Carrancas-Liberdade ultramafic belt, MG.* Allochthonous ultramafic bodies occur associated with metasediments at Andrelândia Depositional Cycle in southern Minas Gerais. They cross regions belonging to the domains of the Brasília Belt and the interference tectonic zone between this and the Ribeira Belt. This paper discusses the differences in the metamorphic evolution of ultramafic rocks of both domains, based on equilibrium reactions, textural analysis and application of geothermometers. The high-grade rocks of a Ribeira Belt Tectonic Domain (meta-pyroxenites) show equilibrium conditions under higher temperatures (700 to 900°C) regarding to their congeners in the Brasília Belt Tectonic Domain (maximum of 640°C). Besides these contrasting temperatures the areas show different styles of deformation. In the Brasília Belt, the metamorphic peak is associated to pyroxene and olivine growth, followed by a deformation that affects the high grade rocks only in a discreet form. The main structures in this region are associated to a retro-metamorphic phase, represented by formation of hydrated rocks over the highest grade assemblages. In the domain of the Ribeira Belt, the formation of the highest grade minerals is concomitant to an intense deformation, indicating that the metamorphic peak coincides with the development of the dominant structures of ultramafic bodies.

Keywords: ultramafic rocks, geothermobarometry, metamorphism.

INTRODUÇÃO A região sul de Minas Gerais possui dezenas de corpos ultramáficos alóctones intercalados a rochas metassedimentares proterozoicas. Estas rochas, posicionadas ao longo de falhas de empurrão e com dimensões que não ultrapassam poucos quilômetros quadrados, exibem uma grande variedade de tipos litológicos, que vão desde associações essencialmente hidratadas, como serpentinitos e clorita xistos, a associações de alto grau como metapiroxenitos. Suas texturas originais foram obliteradas por diferentes fases de metamorfismo e deformação que afetaram esta região e várias origens foram propostas para estas rochas. Magalhães (1985) identifica características de sequências

komatiíticas e também de rochas do “tipo-alpino” ao longo do cinturão. Bebert (1981) propõe uma origem relacionada a sequências ofiolíticas para corpo ultramáfico Morro do Corisco, em Liberdade. Nilson (1984) sugere que algumas destas rochas representem intrusões diferenciadas em *sills*. Almeida (1992, 1998) atribui a estes corpos caráter original intrusivo, com formação de associações cumuláticas a partir de magmas toleíticos continentais. Ribeiro *et al.* (1995) consideram a possibilidade de estes corpos representarem fragmentos do manto litosférico e Pinheiro & Suita (2008) consideram os serpentinitos de Liberdade produtos do metamorfismo de porções ofiolíticas.

1 - Departamento de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (RJ). E-mail: soraya@ufrj.br

Estudos petrográficos (Almeida 1998, 2002) demonstram que tais rochas apresentam uma evolução textural complexa, com crescimento metamórfico de associações de alto grau (olivina+piroxênio) sobre fases hidratadas em ambos os domínios tectônicos definidos para a região por Ribeiro *et al.* (1990). Contudo, a formação de associações de alto grau apresenta padrões distintos entre as rochas do domínio tectônico da Faixa Brasília e as rochas do domínio tectônico da Faixa Ribeira (Domínios II e III, respectivamente, de acordo com proposta original de Ribeiro).

Em ambos os domínios tectônicos definidos para a região por Ribeiro *et al.* (1990), as rochas ultramáficas possuem a textura original obliterada pelo crescimento de fases hidratadas. A dependência da disponibilidade de H_2O , cujo acesso é favorecido por processos de deformação, fez com que a hidratação atuasse de forma heterogênea, produzindo desde tipos com cristais ígneos relictos a rochas sem quaisquer vestígios da textura original. Esta fase de hidratação inicial é seguida pela formação de associações de alto grau com crescimento de olivina e piroxênios sobre as fases hidratadas. Por fim, uma nova fase de hidratação, com forte componente metassomático, é registrada nas zonas de contato destes corpos com suas encaixantes. Esta evolução pode ser sintetizada pela seguinte sequência de eventos, observada em ambos os domínios: 1) formação dos protólitos; 2) hidratação; 3) desidratação e, 4) reidratação. A natureza heterogênea destes processos permitiu a coexistência, em muitas rochas, de minerais gerados nos diferentes estágios do metamorfismo (Almeida 1998, 2002). Contudo, apesar das semelhanças na evolução metamórfica dos corpos ultramáficos de ambos os domínios, as rochas destas regiões apresentam padrões distintos entre si, no que diz respeito à evolução das texturas metamórficas e condições físicas de formação das associações de mais alto grau. Estas diferenças são analisadas neste trabalho tendo como base a compatibilidade destas rochas com protólitos ultramáficos e com as reações metamórficas descritas na literatura para este tipo de sistema. Independente da natureza dos protólitos, a ser discutida em uma segunda publicação (Almeida, submetido), o trabalho focaliza a evolução destas rochas durante a formação das associações de mais alto grau, de forma a contribuir na interpretação da história evolutiva desta área.

MATERIAIS E MÉTODOS Foram realizadas análises químicas de minerais de um total de quatorze amostras representativas de ocorrências ultramáficas ao longo do cinturão. O equipamento usado foi uma microsonda eletrônica JEOL, modelo JXA 8600, contendo cinco espectrômetros acoplados a um sistema EDS (*Energy Dispersive System*) e WDS (*Wavelength*

Dispersive System), pertencente ao Instituto de Geociências da USP. O sistema de análise automatizada (*Tracor-Northern/Noran Instruments* 1990) operou sob corrente do feixe igual a 20 nA, diâmetro do feixe igual a 5 μm e voltagem de aceleração igual a 15kV. Correções quantitativas ZAF ($Z = n^\circ$ atômico, $A =$ absorção, $F =$ fluorescência) para efeito de matriz foram realizadas por meio do programa Flextrab PLZ, com erro analítico de, aproximadamente, 3%. Do total de análises, 542 análises foram selecionadas em função de seu fechamento e fórmula estrutural compatíveis com boa qualidade.

Estimativas das condições reinantes de temperatura, nas diversas associações, foram obtidas com base em geotermômetro de Gasparik & Newton (1984), Wells (1977), Sack & Ghiorso (1991) e com a aplicação do programa TWQ, desenvolvido por Berman (1991).

O geotermômetro apresentado por Gasparik & Newton (1984), aplicado a rochas contendo espinélio, baseia-se no conteúdo de Al_2O_3 em ortopiroxênio coexistente com olivina e espinélio, definindo a seguinte condição de equilíbrio (equação 1):

$$T (^{\circ}C) = 3857K + 443 + P (Kb) \quad (1)$$

sendo o cálculo de K fornecido pela equação de Fujii (1977):

$$K = \frac{(X_{Al}^{M1})_{Opx} \cdot (X_{Mg}^{M2})_{ol}^2}{(X_{Mg}^{M1})_{Opx} \cdot (X_{Mg}^A)_{Sp} \cdot (X_{Al}^B)_{sp}^2} \quad (2)$$

com as seguintes sugestões para cálculo de $(X_{Al}^{M1})_{Opx}$ e $(X_{Mg}^{M1})_{Opx}$:

$$(X_{Al}^{M1})_{Opx} = X_{MgTs} + Na, \text{ com } X_{MgTs} = (Al - Na - 2Ti - Cr)/2$$

$$(X_{Mg}^{M1})_{Opx} = X_{En} + Ca + Mn, \text{ com } X_{En} = Mg - Ca - Cr - Mn - X_{MgTs}$$

O geotermômetro de Wells (1977), aplicado às amostras de metawebsterito, tem como base a equação:

$$T (^{\circ}C) = \frac{7341}{3,355 + 2,44 X_{Fe}^{Opx} - \ln K} \quad (3)$$

$$\text{sendo } K = \frac{(X_{Mg}^{M1} \cdot X_{Mg}^{M2})_{Cpx}}{(X_{Mg}^{M1} \cdot X_{Mg}^{M2})_{Opx}}$$

O termômetro de Sack & Ghiorso (1991) é baseado em trocas iônicas de Mg e Fe entre olivina e espinélio, com curvas de imiscibilidade indicando as condições de equilíbrio do par.

O cruzamento das curvas de equilíbrio de associações mineralógicas em diagrama *P-T*, no programa TQW (*Thermobarometry with Estimation of Equilibrium State*), de Berman (1991), indicariam as condições favoráveis ao equilíbrio das associações fornecidas.

As seguintes abreviaturas são utilizadas neste trabalho: An (anortita); Ant (antofilita); Anf (anfibólio); Al-anf (anfibólio aluminoso); Cl (clorita); En (enstatita); Cpx (clinopiroxênio); Di (diopsídio); Fo (forsterita); Gn (granada); Oli (olivina); Opx (ortopiroxênio); Pla (plagioclásio); Tc (talco); Tre (tremolita); Tsh (tschermackita); Serp (serpentina); Sp (espinélio).

As curvas de equilíbrio no sistema CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (CMASH), MgO-SiO₂-H₂O (MSH) e MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (MASH) utilizadas nas estimativas das condições físicas de formação das associações foram estabelecidas de acordo com trabalhos de Evans (1977), Chernosky *et al.* (1985), Obata & Thompson (1981), Jenkins (1983) e Schmädicke & Evans (1997), que apresentam boa concordância entre si e sintetizam informações desenvolvidas em estudos prévios destes sistemas.

CONTEXTO REGIONAL As rochas estudadas neste trabalho estão localizadas em unidades expostas ao sul do Craton de São Francisco, no domínio da Faixa Brasília. Nesta região, as rochas compoem um empilhamento metamórfico resultante de uma colisão neoproterozoica entre duas placas, designadas Sanfranciscana e Paranapanema, a primeira de margem passiva e, a segunda, de margem ativa (Campos Neto 2000). A faixa estaria estruturada com base em três domínios tectônicos: 1) Nappe Socorro-Guaxupé, contendo rochas de alta temperatura, relacionadas à raiz de arco-magmático; 2) Terreno Andrelândia, representando um domínio continental subductado sob condições de alta pressão e, 3) Sistema de Nappes Carrancas e Lima Duarte, representando o domínio mais externo de uma margem continental passiva (Campos Neto & Caby 1999, Campos Neto 2000, Campos Neto *et al.* 2004, Trouw *et al.* 2000). A localização da área discutida neste trabalho em relação ao mapa tectônico proposto por estes autores está ilustrada na figura 1.

Paciullo *et al.* (2000) apresentaram uma estratigrafia da região, estabelecida com base em litofácies e ilustrada na figura 2, onde é possível observar o posicionamento alóctone dos corpos ultramáficos em relação às suas encaixantes.

Alguns autores consideram esta região afetada por uma colisão tardia com a Faixa Ribeira (Trouw *et al.* 1994, Trouw *et al.* 2000, Peternel *et al.* 2005) enquanto outros consideram a possibilidade de um único evento colisional contínuo (Campos Neto & Caby 2000). Neste contexto, as falhas de empurrão extensas

que cortam a região seriam dobradas por fases posteriores, resultando na sobreposição de rochas metasedimentares neoproterozoicas com lentes gnaissicas (Trouw *et al.* 1986).

Um quadro geral resultante de uma possível interferência entre a Faixa Ribeira e Brasília, foi apresentado por Ribeiro *et al.* (1990). Na região aqui abordada foram reconhecidos dois domínios tectônicos, o primeiro possuindo padrões estruturais compatíveis com a Faixa Brasília e, o segundo, compondo uma zona onde predominam padrões compatíveis com a Faixa Ribeira (Fig. 3). Pertenceriam ao domínio tectônico da Faixa Brasília as ocorrências ultramáficas situadas entre São Vicente de Minas e Carrancas, estando a primeira situada no contato entre ambos. No domínio tectônico da Faixa Ribeira estariam as ocorrências de Liberdade, Arantina, Andrelândia e Serra da Garça. O modelo de Ribeiro é adotado neste trabalho como sistemática de descrição, com o objetivo de avaliar as características das rochas ultramáficas nestes domínios.

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA No domínio tectônico da Faixa Brasília, predominam rochas ultramáficas hidratadas constituídas por anfibólitos, clorita e talco. Rochas com olivina e piroxênios ocorrem na região de São Vicente de Minas (Fazenda Bela Vista) e Carrancas (Fazenda da Areia e Fazenda Rui Barbosa).

Corpos ultramáficos situados no domínio tectônico da Faixa Ribeira exibem maior diversidade de tipos litológicos, em comparação ao domínio da Faixa Brasília. Na região de Liberdade, os corpos da Fazenda da Roseta e do Morro do Corisco são compostos, essencialmente, por serpentinitos com metapiroxenitos, metadunitos e hornblenditos subordinados. As ocorrências da região da Serra da Garça contêm metaortopiroxenito e rochas ricas em talco, antofilita e clorita abundantes. Em Arantina e Andrelândia predominam rochas ricas em minerais hidratados, com uma ocorrência local de serpentinito com grãos de olivina prismáticos. A seguir é apresentada uma análise comparativa entre litotipos contendo associações minerais semelhantes em ambas as regiões. Para descrições detalhadas destas rochas, ver Almeida (1998, 2002).

Metapiroxenitos Metapiroxenitos localizados no domínio da Faixa Ribeira se apresentam intensamente deformados exibindo registros de diferentes etapas de sua evolução metamórfica. Em Liberdade, metawebsteritos exibem texturas compatíveis com crescimento metamórfico de clino- e ortopiroxênio sobre a hornblenda da matriz. Segundo Almeida (2002), tal crescimento é concomitante à deformação principal que afetou o corpo. A figura 4 é ilustrativa da heterogeneidade do metamorfismo e da deformação sobre estas rochas. Na sequência

Figura 1 - Mapa Tectônico do Orógeno Brasília Meridional. Extraído de Campos et al. (2007). No destaque, localização da área estudada.

de imagens é possível observar a passagem gradual, em uma mesma rocha, de uma textura granoblástica para uma textura em mosaico. Deformação complexa também é registrada em metaortopiroxenitos da Serra da Garça, onde enstatita, associada à antofilita, olivina e talco também se encontra intensamente deformada.

No domínio tectônico da Faixa Brasília, metapiroxenitos são rochas de granulação grossa, com ortopiroxênio poiquiloblástico contendo inclusões de anfibólio (hornblenda), espinélio aluminoso, olivina e ortopiroxênio de geração anterior. Assim como nos tipos modalmente equivalentes presentes no domínio da Faixa Ribeira (Fig. 5), possui ortopiroxênios com características de crescimento metamórfico, mas sem vestígios de deformação intensa, como a registrada entre os piroxenitos da Faixa Ribeira. Neste caso, a deformação de megacristais

se traduz em extinção ondulante e em recristalização ao longo de microzonas de cisalhamento.

Metaperidotitos No domínio da Faixa Ribeira, metaperidotitos são representados por espinélio meta-harzбургito e dunito. Espinélio, no meta-hazburgito, ocorre no contato entre ortopiroxênio e olivina, sob três formas: com textura simplectítica, como cristais granulares, xenoblástico ou como cristais poligonizados. A ocorrência de espinélio na região de contato entre olivina e ortopiroxênio indica formação a partir da reação subsólida entre estes minerais, com expulsão de alumina do piroxênio rico em componente tschermackítico em fase anterior ao processo de poligonização, pois este afeta tanto os espinélios granulares como os espinélios simplectíticos. Estas texturas são compatíveis com nucleação de espinélio

Figura 2 - Ocorrências de rochas ultramáficas na região entre Liberdade e Carrancas. As áreas destacadas indicam os corpos discutidos neste trabalho: (1) Fazenda da Areia, (2) Fazenda Rui Barbosa e Serra do Moleque, (3) Fazenda Algodoal, (4) Serra da Garça, (5) Arantina, (6) Fazenda da Roseta, (7) Morro do Corisco. Dados geológicos por Paciullo et al. (2000).

Figura 3 - Localização dos Domínios Tectônicos segundo trabalho original de Ribeiro *et al.* (1990).

nas bordas dos grãos ao longo de um processo contínuo durante queda de temperatura de forma semelhante aos processos descritos por Hibbard (1995) e Embury & Nicholson (1965), onde grãos previamente formados adquirem formas compactas, enquanto os grãos tardios exibem textura lamelar. As figuras 6A e B são ilustrativas desta evolução textural. Assim como nos metapiroxenitos deste domínio, o meta-harzburgito exibe relictos de ortopiroxênio ígneo, com forte zoneamento composicional associados a ortopiroxênio metamórfico. Dunitos foram identificados no Morro do Corisco por Magalhães (1985), exibindo textura cumulática reliquiar (Fig. 6C).

No domínio tectônico da Faixa Brasília, apenas uma ocorrência de metaperidotito, foi localizada. Esta está localizada no corpo serpentinitico da Fazenda Rui Barbosa, com olivina de hábito tabular entrelaçada com serpentina acicular (Fig. 6D).

Talco xisto e talco fels Rochas ricas em talco são abundantes no domínio tectônico da Faixa Brasília e ocorrem, com pouca frequência, no domínio da Faixa Ribeira onde talco é encontrado como mineral essencial apenas na Serra da Garça, associado à antofilita asbestiforme.

No domínio da Faixa Brasília, rochas contendo misturas de talco e clorita são encontradas ao longo de

zonas de cisalhamento que cortam metapiroxenito, enquanto talco xisto e talco fels bastante puros ocorrem bordejando serpentinito e metapiroxenito ou compondo corpos satélites. Esta disposição indica uma origem metassomática (do tipo *blackwall*) por reação entre as rochas ultramáficas e suas encaixantes ácidas. Carbonato ocorre localmente, de forma subordinada, associada a talco. Desta forma, a presença de talco registra condições metamórficas diferentes em ambos os domínios: na Faixa Ribeira, sua associação com antofilita, define condições de temperatura entre 650 e 850°C, compatíveis com aquelas indicadas pela associação granada+cianita, presente nas rochas encaixantes, enquanto no domínio da Faixa Brasília, onde talco bordeja serpentinito, sua formação é consequente de reações envolvendo serpentina e sílica (ex., $\text{serpentina} + \text{SiO}_2 = \text{talco} + \text{H}_2\text{O}$), que ocorrem, tipicamente, sob condições de menor temperatura - entre 300 e 350°C (Evans 1977, Chernosky *et al.* 1985).

Anfibólio/clorita xisto e fels Rochas contendo clorita e anfibólios como constituintes essenciais são frequentes no domínio tectônico da Faixa Brasília. Estas ocorrem como tipos bordejantes no corpo piroxenítico da Fazenda da Areia e em vários corpos de dimensões métricas da região, sendo as associações predominantes: anfibólio+talco+clorita; anfibólio+clorita; anfibólio+talco+espinélio e anfibólio+olivina+clorita+minerais opacos. Nas associações com predominância de anfibólio, hornblenda possui textura granoblástica polygonizada, sem nenhum tipo de orientação, mesmo nas amostras xistosas, onde clorita é o mineral responsável pela estruturação da rocha. Em alguns casos, como no corpo tabular da Serra do Moleque, em Carrancas, textura granoblástica sugere substituição pseudomórfica de um protólito cumulático (Fig. 7A). Clorita, com granulometria fina a média, é observada nos planos de clivagem de anfibólio, substituindo suas bordas ou seccionando-o e, nas amostras xistosas, clorita ocorre sob três formas: 1) em bandas milimétricas, onde está fortemente orientada; 2) com disposição aleatória, associada ao anfibólio contido entre estas bandas e, 3) ao redor de minerais opacos, envolvendo-os como uma corona. A formação de clorita nestas rochas está, portanto, condicionada a atividades metassomáticas com processos dinâmicos associados a diferentes fases de deformação (Fig. 7B). Na Fazenda Rui Barbosa, clorita xistos ocorrem nas bordas do corpo ultramáfico e ao longo de faixas cisalhadas que cortam o corpo serpentinitico.

Na área do domínio da Faixa Ribeira compreendida neste estudo, clorita aparece, na maior parte das vezes, como mineral retrometamórfico, em pequena porcentagem. Rochas com clorita abundante são observadas apenas localmente, em auréolas metassomáticas

Figura 4 - Sequência de deformação em metapiroxenito do domínio tectônico da Faixa Ribeira. Em (A) grãos de piroxênios com inclusões de anfíbólio; (B) cristais exibem direção preferencial de alongamento; (C) forte orientação dos elementos, com orto e clinopiroxênio interdigitados e (D): poligonização da associação.

Figura 5 - Metapiroxenito associado ao domínio tectônico da Faixa Brasília: (A) blastos indeformados de ortopiroxênio que sobrecrecem matriz de anfíbólio e espinélio; (B): detalhe da figura 5A.

(*blackwall*), com poucos centímetros de extensão, localizadas entre as rochas ultramáficas e suas encaixantes. Na Serra da Garça e nas exposições situadas entre Arantina e Andrelândia, a associação clorita+anfíblio predomina em ocorrências não foliadas, de dimensões métricas. Em Arantina, um dos afloramentos possui clorita associada à olivina metamórfica de hábito tabular com inclusões de olivina de origem pretérita. Esta rocha não apresenta serpentina e possui olivina texturalmente equilibrada com tremolita e com crescimento topoaxial de clorita em relação à olivina. Na Serra da Garça e na região entre Arantina e Andrelândia, antofilita está associada à olivina e ortopiroxênio (Figs. 7C e D), compondo fels.

Serpentinito Corpos de serpentinito de ambos os domínios exibem aspectos contrastantes. No domínio da Faixa Ribeira, as ocorrências possuem contornos

ovalados e suas rochas apresentam aspecto poroso e brilho silicoso, quebrando-se ao longo de superfícies irregulares, sob a forma de pequenos blocos, enquanto no domínio tectônico da Faixa Brasília, a maioria dos serpentinitos está exposta em corpos alongados de extensão quilométrica sugestiva de uma origem como *sills*. Tais rochas quebram-se sob a forma de lascas, com superfícies mais regulares e lisas. Tais diferenças encontram reflexos a nível microscópico: serpentinitos inseridos no domínio da Faixa Ribeira exibem textura “*mesh*” (Fig. 7E), com olivina e piroxênios reliquias indicando um protólito originalmente granular, enquanto, no domínio tectônico da Faixa Brasília, serpentina ocorre em agregados tabulares de granulometria variável, compondo foliações ou entrelaçadas (Fig. 7F). Os tipos vão de serpentinitos puros a associações contendo hornblenda, clorita e talco em menores proporções.

Figura 6 - Metaperidotitos do domínio tectônico da Faixa Ribeira: (A) Espinélio *simplectítico* no contato entre ortopiroxênio e olivina em meta-harzburgito. (B) Variação textural do espinélio em meta-harzburgito. À esquerda, espinélio com textura *simplectítica*, à direita, espinélio granular. (C) Dunito com textura *adumulática* reliquiar em amostra descrita por Magalhães (1985). Figura 6D: único exemplar peridotítico do domínio tectônico da Faixa Brasília: olivina em porção metadunítica do corpo serpentínico da Fazenda Rui Barbosa, Carrancas.

Figura 7 - Texturas em rochas ultramáficas constituídas essencialmente por minerais hidratados. (A, B): exemplares do domínio tectônico da Faixa Brasília. Em (A) hornblendito granoblástico com textura sugestiva de pseudomorfose de protólito cumulático, em (B) foliação definida por clorita ao longo de microcisalhamentos. (C, D, E): exemplares do domínio tetônico da Faixa Ribeira. Em C e D, antofilita fibrosa associada à ortopiroxênio. As imagens (E) e (F) ilustram o contraste textural entre serpentinitos de ambos os domínios: textura “mesh” no domínio da Faixa Ribeira (E) e placoide no domínio tectônico da Faixa Brasília (F).

QUÍMICA MINERAL A tabela 1 apresenta a relação de rochas e fases minerais analisadas. Análises representativas das diferentes fases estão listadas nas tabelas 2 (ortopiroxênio), 3 (clinopiroxênio), 4 (espinélio), 5 (olivina) e 6 (anfíbólio).

A variação do conteúdo de En em ortopiroxênios é restrita, entre En_{85} e $En_{91,2}$, nas rochas do Domínio Ribeira e entre En_{75} e En_{85} nas rochas do Domínio Brasília. A homogeneidade relativa destes piroxênios pode ser observada no diagrama En-Wo-Fs (Fig. 8) onde

Tabela 1 - Relação de rochas e respectivas fases minerais analisadas.

Localização na Figura 2	Tipo Petrográfico	Amostra	Minerais analisados
DOMÍNIO DA FAIXA RIBEIRA			
Fazenda da Roseta (6)	Metawebsterito	SO11GB, SO11GB2, FR4	ortopiroxênio, olivina, espinélio, anfibólio, clinopiroxênio
	Meta-harzburgito	SO11, SO11E, SO11D	ortopiroxênio, olivina, espinélio, clorita
	Serpentinito	FR3A	olivina, anfibólio
Arantina (5)	Clorita/anfibólio olivina fels	AR, AR1	olivina, clorita, anfibólio
Serra da Garça (4)	Metaortopiroxenito	SG, SG2B	ortopiroxênio, olivina, anfibólio, clorita
Morro do Corisco (7)	Serpentinito	MC	olivina
DOMÍNIO DA FAIXA BRASÍLIA			
Fazenda da Areia (1)	Espinélio-olivina metaortopiroxenito	CA10B, FA-IV	ortopiroxênio, olivina, anfibólio
Fazenda Rui Barbosa (2)	Serpentinito	CA7B	olivina
Fazenda Bela Vista (3)	Espinélio-olivina metaortopiroxenito	SV, SV3A	ortopiroxênio, olivina, anfibólio, clorita

Tabela 2 - Análises químicas representativas de ortopiroxênio.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total	%En
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA														
<i>Metaespinélio harzburgito - Fazenda da Roseta</i>														
SO11D20L11	57,40	0,01	1,23	0,01	0,22	9,00	31,49	0,00	0,11	0,09	0,00	0,00	99,56	85,7
SO11D31L11	57,43	0,00	2,44	0,06	0,07	8,78	30,92	0,00	0,09	0,04	0,00	0,00	99,83	85,9
SO11E83L7	55,71	0,00	3,4	0,02	0,06	8,89	32,11	0,00	0,2	0,00	0,02	0,07	100,48	86,1
SO11E89L7	54,32	0,08	3,87	0,02	0,00	8,76	32,95	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	100,22	87,2
SO1168L11	55,81	0,05	2,72	0,00	0,08	8,86	31,61	0,03	0,25	0,02	0,00	0,04	99,47	85,9
SO1170L11	56,74	0,08	2,79	0,04	0,12	8,49	30,8	0,02	0,03	0,00	0,01	0,04	99,16	86,4
SO11E22L5	57,00	0,00	0,03	0,00	0,16	9,58	33,6	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	100,45	87,9
SO11E20L7	57,89	0,03	0,61	0,00	0,08	7,92	33,74	0,05	0,22	0,00	0,02	0,00	100,56	86,6
<i>Metawebsterito - Fazenda da Roseta</i>														
11GB226L9	55,39	0,03	3,03	0,08	0,1	8,81	32,51	0,13	0,24	0,05	0,02	0,00	99,57	87,6
11GB251L9	57,53	0,00	1,07	0,03	0,05	7,46	33,77	0,07	0,25	0,00	0,02	0,00	100,25	88,5
11GB257L9	56,48	0,05	2,42	0,01	0,1	7,55	33,24	0,11	0,19	0,03	0,03	0,08	100,29	88,2
11GB6L3	55,35	0,00	1,99	0,00	0,01	9,11	33,15	0,00	0,16	0,02	0,00	0,00	99,79	86,3
11GB23L3	55,77	0,00	1,64	0,00	0,02	8,6	33,6	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	99,76	86,2
11GB56L3	55,36	0,00	1,41	0,00	0,11	9,03	33,69	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	99,86	87,2
FR472L2	54,71	0,00	1,87	0,50	0,13	9,22	32,99	0,13	0,23	0,05	0,04	0,00	99,87	85,9
FR470L2	54,18	0,02	2,63	0,13	0,11	7,88	34,84	0,11	0,31	0,06	0,03	0,00	100,3	88,1
<i>Metaortopiroxenito - Serra da Garça</i>														
SG2B10L4	58,51	0,00	0,04	0,00	0,00	6,25	35,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,01	90,9
SG2B12L4	59,01	0,02	0,00	0,00	0,00	6,1	35,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,68	91,2
SG2B13L4	58,99	0,00	0,00	0,00	0,00	6,65	35,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,85	90,4
SG2B1L4	57,79	0,00	0,00	0,00	0,00	6,54	35,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,69	90,6

continua...

Tabela 2 - Continuação.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total	%En
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA														
<i>Metaortopiroxenito - Serra da Garça</i>														
SG2B23L4	59,08	0,00	0,17	0,00	0,02	6,00	35,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	100,34	91,2
SG2B25L4	58,69	0,00	0,02	0,00	0,00	6,13	35,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,86	91,0
SG2B1L11	59,19	0,04	0,12	0,00	0,04	6,75	33,21	0,00	0,09	0,07	0,02	0,12	99,65	89,6
SG2B2L11	58,96	0,00	0,18	0,01	0,07	6,58	33,19	0,08	0,09	0,00	0,01	0,00	99,17	89,7
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA														
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - Carrancas</i>														
CA10B21L2	55,14	0,02	2,29	0,12	0,25	15,22	26,56	0,01	0,17	0,06	0,05	0,00	99,89	75,1
CA10B25L2	53,97	0,06	2,22	0,03	0,2	14,71	28,78	0,11	0,13	0,04	0,00	0,00	100,25	77,2
CA28L2	52,05	0,02	2,26	0,04	15,84	0,03	15,84	28,78	0,24	0,08	0,04	0,00	99,65	77,3
FA-IV38L10	55,56	0,00	1,91	0,08	0,28	13,31	28,08	0,06	0,19	0,00	0,00	0,00	99,47	78,3
FA-IV44L10	55,98	0,05	1,99	0,00	0,01	12,96	28,25	0,12	0,18	0,03	0,01	0,00	99,31	79,6
FA-IV10L10	55,77	0,07	1,98	0,01	0,27	13,00	28,27	0,07	0,2	0,01	0,00	0,04	99,69	78,8
FA-IV11L10	55,49	0,05	2,12	0,02	0,39	14,3	27,36	0,07	0,21	0,02	0,00	0,00	100,03	76,5
FA-IV21L10	55,54	0,02	2,14	0,07	0,25	13,45	28,28	0,06	0,20	0,00	0,00	0,00	100,01	78,8
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - São Vicente de Minas</i>														
SV3A 86L11	55,52	0,03	1,83	0,2	0,29	9,45	31,32	0,04	0,2	0,53	0,02	0,12	99,67	84,7
SV3A76L11	56,21	0,07	1,83	0,04	0,26	10,07	30,49	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	99,15	83,7
SV3A77L11	56,55	1,96	0,1	0,23	10,18	30,48	0,1	0,2	0,08	0,03	0,00	0,00	99,91	83,6
SV3A109L11	57,13	0,07	2,36	0,00	0,21	9,92	30,21	0,00	0,19	0,01	0,01	0,00	100,11	83,9
SV3A100L11	56,47	0,00	2,06	0,06	0,27	9,94	31,25	0,09	0,18	0,01	0,01	0,00	100,34	84,2
SV3A113L11	55,88	0,08	1,48	0,15	0,25	9,96	31,72	0,08	0,12	0,05	0,00	0,21	99,98	84,5
SV3A115L11	56,80	0,00	1,94	0,12	0,19	9,85	31,06	0,08	0,13	0,07	0,00	0,11	100,35	84,4
SV23A116L11	56,73	0,03	2,23	0,09	0,16	9,49	30,74	0,02	0,14	0,00	0,03	0,00	99,70	84,8

Tabela 3 - Análises químicas representativas de clinopiroxênio.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	% Wo	% En	% Fs	
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA																
Metawebsterito - Fazenda da Roseta																
FR 4A	64 L2	51,2	0,02	1,73	0,01	2,58	0,1	0,1	17,67	26,31	0,05	0,00	99,77	49,6	46,4	4,0
FR 4A	65 L2	52,43	0,07	1,73	0,17	2,68	0,07	0,07	16,83	26,47	0,05	0,01	100,58	50,9	45,0	4,1
FR 4A	66 L2	53,33	0,21	1,76	0,12	2,62	0,00	0,00	15,61	26,26	0,04	0,01	99,96	52,5	43,4	4,1
FR 4A	68 L2	52,53	0,00	1,81	0,20	2,83	0,00	0,00	16,59	26,15	0,03	0,04	100,18	50,8	44,9	4,3
FR 4A	71 L2	52,71	0,05	1,86	0,11	2,81	0,00	0,05	15,89	26,82	0,04	0,02	100,36	52,5	43,2	4,3
11 GB2	5 L3	52,43	0,00	1,66	0,00	2,51	0,00	0,00	17,45	25,71	0,00	0,00	99,76	49,5	46,7	3,8
11 GB2	10I3	52,4	0,00	1,50	0,00	2,77	0,00	0,00	17,75	25,71	0,09	0,00	100,22	48,9	47,0	4,1

continua...

Tabela 3 - Continuação.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	% Wo	% En	% Fs	
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA																
Metawebsterito - Fazenda da Roseta																
11 GB2	1113	53,39	0,00	1,42	0,00	2,61	0,00	0,00	17,84	25,62	0,03	0,00	100,91	48,8	47,3	3,9
11 GB2	1513	51,13	0,00	1,35	0,00	2,84	0,00	0,00	17,76	25,85	0,07	0,00	99,00	49,0	46,8	4,2
11 GB2	5213	52,82	0,02	0,91	0,00	2,78	0,00	0,00	18,24	25,62	0,05	0,00	100,44	48,2	47,7	4,1
11 GB2	7913	52,61	0,00	1,34	0,00	2,66	0,03	0,00	17,46	25,3	0,01	0,00	99,41	48,9	47,0	4,1
11 GB3	8313	52,58	0,02	1,34	0,00	2,41	0,01	0,00	17,78	26	0,00	0,00	100,14	49,4	47,0	3,6
11 GB5	9013	52,58	0,00	1,24	0,00	2,6	0,14	0,00	17,65	25,47	0,00	0,00	99,68	48,9	47,0	4,1
11 GB6	3413	52,23	0,00	1,59	0,00	2,78	0,00	0,00	17,45	25,7	0,00	0,00	99,75	49,3	46,6	4,1
11 GB7	3513	52,55	0,00	1,58	0,00	2,92	0,02	0,00	17,96	25,57	0,03	0,00	100,63	48,4	47,3	4,3

Tabela 4 - Análises químicas representativas de espinélio.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO	ZnO	Total	Mg/ (Mg+Fe ₂)
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA												
<i>Metawebsterito - Fazenda da Roseta</i>												
11GB259L9	0,13	0,00	59,95	3,07	11,43	5,37	0,15	18,97	1,07	0,00	100,14	75
11GB260L9	0,18	0,00	60,39	3,02	11,85	4,13	0,07	18,73	1,00	0,00	99,19	74
11GB264L9	0,11	0,10	61,72	2,88	11,66	3,85	0,05	19,31	0,92	0,00	100,61	72
FR459L2	0,12	0,06	45,59	14,05	20,94	6,57	0,15	11,43	0,66	0,00	99,57	55
FR462L2	0,05	0,03	40,52	17,53	18,38	9,59	0,22	12,31	0,77	0,00	99,4	54
SO11GB74L3	0,00	0,00	38,77	19,54	17,91	9,94	0,12	12,78	0,22	0,00	99,28	63
SO11GB94L3	0,00	0,10	39,91	19,53	16,32	9,10	0,11	14,03	0,19	0,00	99,29	61
FR448L2	0,00	0,00	47,22	13,02	18,97	6,81	0,15	12,64	0,78	0,00	99,66	54
<i>Metaespinélio harzburgito - Fazenda da Roseta</i>												
SO11D 13L8	0,23	0,08	63,94	0,13	11,64	3,47	0,04	19,94	0,15	0,00	99,62	76
SO11D15L8	0,30	0,11	62,94	0,17	11,26	4,69	0,00	20,27	0,07	0,00	99,81	75
SO11D17L8	0,41	0,00	64,25	0,1	10,21	3,76	0,09	21,04	0,14	0,00	100,04	76
SO11D80L9	0,18	0,02	63,35	0,17	12,89	3,43	0,08	18,91	0,05	0,00	99,08	72
SO11E25L7	0,12	0,00	64,93	0,07	11,14	3,55	0,05	20,45	0,00	0,00	100,33	76
SO11E26L7	0,20	0,05	63,38	0,09	11,4	4,22	0,07	20,01	0,02	0,00	99,45	76
SO11E29L7	0,12	0,00	64,2	0,08	11,42	3,67	0,11	20,01	0,01	0,00	99,62	77
SO11E12L5	0,00	0,02	64,55	0,00	12,29	4,00	0,00	19,72	0,00	0,00	0,00	77
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRÁSILIA												
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - Carrancas</i>												
CA10B11L2	0,10	0,07	53,41	8,55	24,69	2,12	0,15	9,97	0,39	0,00	99,46	42

continua...

Tabela 4 - Continuação.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	NiO	ZnO	Total	Mg/ (Mg+Fe ₂)
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA												
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - Carrancas</i>												
CA10B12L2	0,05	0,06	53,93	8,51	24,77	1,79	0,1	10,01	0,36	0,00	99,58	42
CA10B13L2	0,11	0,07	53,84	8,16	24,95	2,46	0,05	10,04	0,37	0,00	100,08	40
CA10B14L2	0,07	0,00	53,72	8,18	25,75	2,98	0,14	9,49	0,36	0,00	100,75	38
CA10B26L2	0,12	0,00	55,68	6,11	24,27	3,09	0,18	10,66	0,36	0,00	100,47	43
CA10BO2L1	0,22	0,04	51,89	7,86	22,66	4,91	0,19	11,11	0,4	0,00	99,32	47
CA10B31L2	0,15	0,00	58,51	3,78	24,23	1,46	0,14	10,77	0,45	0,00	99,51	46
CA10B32L2	0,77	0,02	58,93	3,73	23,74	0,00	0,12	11,46	0,55	0,00	99,32	42
CA10B35L2	0,09	0,00	59,26	3,82	25,31	0,79	0,18	10,13	0,54	0,00	100,17	37
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - São Vicente de Minas</i>												
SV7LB	0,03	0,07	40,09	23,25	22,0	2,7	0,23	10,52	0,1	0,16	99,8	46
SV8LB	0,01	0,01	44,07	19,97	19,76	3,33	0,18	12,17	0,16	0,27	99,79	42
SV10LB	0,00	0,02	58,64	7,2	15,65	1,75	0,1	16,42	0,35	0,18	100,13	65
SV20LB	0,00	0,07	57,40	8,16	15,62	1,98	0,13	16,40	0,35	0,00	100,11	65
SV57LA	0,01		49,14	16,7	17,88	2,31	0,15	14,13	0,27	0,11	100,69	58
SV61LA	0,02	0,03	58,23	6,89	13,61	2,69	0,08	17,64	0,43	0,05	99,67	70
SV63LA	0,01	0,03	54,12	11,41	14,33	2,75	0,11	16,76	0,37	0,18	99,89	68
SV69LA	0,00	0,01	59,21	5,73	13,46	2,44	0,12	17,60	0,4	0,20	0,00	70

Tabela 5 - Análises químicas representativas de olivina.

Análise	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total	%Fo
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA														
<i>Meta-harzburgito - Fazenda da Roseta</i>														
SO11E 65L7	40,81	0,05	0,00	0,03	11,84	0,01	47,11	0,00	0,02	0,12	0,00	0,11	100,1	87,7
SO11E 73L7	40,69	0,03	0,06	0,00	12,53	0,08	47,35	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	100,77	87,0
SO11E 17L7	39,38	0,00	0,00	0,00	12,99	0,00	47,44	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	100,13	87,7
SO11D 30L11	41,52	0,05	0,13	0,00	12,69	0,15	44,53	0,05	0,00	0,02	0,03	0,00	99,17	86,2
SO11D 37L11	41,78	0,05	0,03	0,00	12,58	0,07	44,61	0,00	0,07	0,00	0,00	0,19	99,38	86,3
<i>Serpentinó - Fazenda da Roseta</i>														
FR3A 1L10	42,17		0,03	0,03	6,2	0,11	49,87	0,29	0,04	0,00	0,03	0,00	98,77	93,5
FR3A 4L10	42,23	0,05	0,00	0,00	6,36	0,07	49,91	0,38	0,01	0,03	0,02	0,04	99,10	93,4
FR3A 5L10	41,87		0,05	0,05	6,25	0,15	49,83	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	98,59	93,3
<i>Metawebsterito - Fazenda da Roseta</i>														
FR4 38L2	40,19	0,00	0,08	0,04	11,58	0,12	47,17	0,00	0,63	0,02	0,08	0,00	99,91	87,9
FR4 40L2	40,36	0,06	0,04	0,02	12,49	0,09	45,87	0,58	0,05	0,08	0,01	0,04	99,69	86,8
FR4 47L2	40,9	0,04	0,09	0,04	12,64	0,1	45,46	0,65	0,00	0,07	0,00	0,18	100,17	86,6
11GB 33L3	39,1	0,00	0,00	0,00	13,35	0,05	47,4	0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,1	86,3
11GB 40L3	40,04	0,00	0,00	0,00	12,45	0,00	47,69	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	100,37	87,2
<i>Clorita/anfíbólio olivina fels - Arantina</i>														
AR1 107L3	37,30	0,00	0,00	0,00	21,45	0,12	41,45	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	100,54	77,5
AR1 109L3	38,51	0,00	0,00	0,00	21,24	0,2	40,35	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	100,36	77,2

continua...

Tabela 5 - Continuação.

Análise		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Total	%Fo
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA															
<i>Clorita/anfibólio olivina fels - Arantina</i>															
AR1	110L3	37,7	0,00	0,00	0,00	21,27	0,28	40,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,04	77,4
AR1	114L3	37,84	0,00	0,00	0,00	20,63	0,24	40,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,56	77,9
AR1	120L3	37,6	0,00	0,00	0,00	21,52	0,07	40,75	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	100,07	77,1
<i>Metaortopiroxenitos - Serra da Garça</i>															
SG2B	29L4	41,58	0,00	0,00	0,00	9,82		49,26	0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	100,96	89,9
SG2B	18L4	41,48	0,07	0,00	0,00	9,94	0,05	48,69	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	100,42	89,7
SG2B	6L6	41,31	0,00	0,05	0,00	10,06	0,1	48,77	0,23	0,03	0,08	0,03	0,00	100,66	89,6
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA															
<i>Metaespinélio-olivina ortopiroxenito - Carrancas</i>															
FA-IV	27L10	39,26	0,03	0,01	0,00	23,82	0,44	36,05	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	99,85	73,0
FA-IV	29L10	39,09	0,02	0,04	0,04	24,26	0,36	35,32	0,25	0,03	0,03	0,00	0,00	99,44	72,2
CA10B	17L2	37,64	0,02	0,04	0,00	23,06	0,22	38,2	0,37	0,01	0,01	0,02	0,11	99,7	74,7
CA10B	19L2	37,86	0,08	0,07	0,06	23,5	0,07	36,82	0,27	0,02	0,03	0,00	0,00	98,78	73,6
CA10B	24L2	38,4	0,00	0,00	0,05	25,75	0,19	35,23	0,27	0,00	0,05	0,00	0,00	99,94	71,0
<i>Metaespinélio-olivina ortopiroxenito - São Vicente de Minas</i>															
SV3A	105L11	40,91		0,03	0,04	15,75	0,24	42,49	0,39	0,03	0,05			99,89	82,8
SV3A	94L11	40,05	0,05	0,06	0,04	15,53	0,21	43,64	0,38	0,04	0,05		0,04	100,09	83,4
SV3A	97L11	40,98		0,09		15,79	0,21	42,75	0,33					100,15	82,8
SV3A	98L11	41,3	0,02	0,03	0,07	15,64	0,2	43,12	0,37		0,03			100,78	83,0
SV3A	110L11	40,69		0,05	0,05	15,97	0,16	43,19	0,32	0,02			0,19	100,4	82,9
<i>Serpentinito - Fazenda Rui Barbosa - Carrancas</i>															
CA7B	1L9	42,46	0,09	0,07		4,41	0,38	52,67	0,28	0,02				100,38	95,6
CA7B	06L0	42,87	0,02	0,01	0,03	4,42	0,34	52,8	9,27	0,07				100,81	95,5
CA7B	11L9	42,78		0,04	0,05	4,28	0,40	52,72	0,27	0,04	0,06			100,59	95,6
CA7B	10L9	42,65		0,07	0,08	4,22	0,41	52,62	0,33	0,01		0,02	0,12	100,33	95,9
CA7B	12L9	42,78	0,02			4,49	0,39	52,42	0,32	0,02	0,06			100,50	95,4
CA7B	07L9	42,08		0,05	0,07	4,17	0,39	52,79	0,27	0,03	0,08			99,86	95,8

Tabela 6 - Análises químicas representativas de anfibólio.

Análise		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	ZnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA													
<i>Metawebsterito - Fazenda da Roseta</i>													
FR4	37L2	51,77	0,10	6,69	0,43	3,51	0,00	19,38	0,18	14,06	0,23	0,10	96,45
FR4	60L2	51,90	0,13	5,83	0,28	3,22	0,05	20,70	0,16	13,85	0,24	0,09	96,45
FR4	67L2	52,45	0,00	6,18	0,31	3,74	0,00	19,54	0,10	14,02	0,28	0,08	96,70
SO11GB	30L3	51,40	0,17	6,98	0,09	4,08	0,00	20,54	0,00	13,57	0,43	0,17	97,43
SO11GB	84L3	52,98	0,00	6,34	0,00	4,04	0,00	21,19	0,00	13,67	0,37	0,08	98,67
SO11GB2	19L9	52,62	0,12	6,91	0,35	3,71	0,01	20,23	0,12	13,53	0,45	0,16	98,21
SO11GB2	20L9	52,70	0,07	7,04	0,35	3,92	0,07	19,95	0,22	12,65	0,45	0,09	97,51
SO11GB2	25L9	52,23	0,15	8,59	0,13	4,35	0,09	19,64	0,14	12,73	0,60	0,21	98,86

continua...

Tabela 6 - Continuação.

Análise		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	ZnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA													
<i>Serpentinó - Fazenda da Roseta</i>													
FR-3A	7L10	57,81	0,00	1,33	0,14	1,58	0,12	21,81	0,12	13,58	0,02	0,01	96,52
FR-3A	8L10	58,30	0,03	1,60	0,12	1,78	0,02	21,69	0,13	13,20	0,04	0,00	96,91
<i>Ortopiroxenito - Serra da Garça</i>													
SG2B	7L4	59,90	0,00	0,00	0,00	7,34	0,06	30,54	0,00	0,21	0,00	0,00	98,05
<i>Clorita/anfibólio olivina fels - Arantina</i>													
AR1121L3	53,90	0,00	0,42	0,00	3,47	0,03	23,74	0,00	13,23	0,16	0,00	94,95	
DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA													
<i>Metaespinélio ortopiroxenito - Carrancas</i>													
CA10B	1L1	47,35	0,40	10,08	0,24	6,15	0,01	19,49	0,03	13,50	0,82	0,00	98,07
CA10B	33L2	48,99	0,42	10,26	0,11	6,94	0,04	16,58	0,09	13,63	0,93	0,18	98,17
CA10B	8L1	46,42	0,48	10,86	0,20	7,48	0,16	18,65	0,03	12,61	0,87	0,20	97,96
CA10B	9L1	48,51	0,50	10,33	0,10	7,24	0,05	17,14	0,08	12,71	0,93	0,18	97,77
FA-IV	25L10	51,41	0,40	7,81	0,09	6,47	0,15	17,76	0,12	12,29	1,01	0,12	97,63
FA-IV	32L10	51,14	0,42	7,49	0,19	6,32	0,07	17,85	0,12	12,37	0,84	0,11	96,92
FA-IV	35L10	51,02	0,47	7,71	0,14	5,87	0,12	18,03	0,14	13,73	0,99	0,15	98,37
FA-IV	56L10	53,06	0,47	6,53	0,29	5,55	0,07	18,72	0,14	12,53	0,77	0,08	98,21
<i>Metaespinélio-olivina ortopiroxenito - Carrancas</i>													
SV3A	102L11	53,22	0,38	6,94	0,25	3,43	0,03	19,43	0,08	12,85	0,57	0,17	97,35
SV3A	106L11	53,07	0,22	6,85	0,15	3,49	0,02	18,68	0,03	12,71	0,52	0,14	95,88
SV3A	85L11	52,50	0,42	6,46	0,27	3,38	0,02	19,47	0,12	12,56	0,53	0,14	95,87
SV3A	90L11	52,36	0,40	7,21	0,19	3,34	0,13	19,01	0,12	12,10	0,62	0,20	95,68
SV3A	91L11	51,77	0,53	7,02	0,24	3,66	0,12	19,75	0,04	12,31	0,64	0,15	96,23
SV3A	92L11	52,64	0,20	6,64	0,09	3,45	0,10	19,99	0,17	12,51	0,55	0,14	96,48
SV3A	102L11	53,22	0,38	6,94	0,25	3,43	0,03	19,43	0,08	12,85	0,57	0,17	97,35
SV3A	106L11	53,07	0,22	6,85	0,15	3,49	0,02	18,68	0,03	12,71	0,52	0,14	95,88
SV3A	102L11	53,22	0,38	6,94	0,25	3,43	0,03	19,43	0,08	12,85	0,57	0,17	97,35

estão ilustradas as composições de trezentas análises pontuais. No domínio da Faixa Ribeira, ortopiroxenito sem deformação de metawebsterito e meta-harzburgito apresenta núcleo enstatítico que grada para bordas bronzíticas. Nos cristais deformados, o padrão de distribuição é irregular, não apenas em termos de enstatita, mas também de Al₂O₃. No diagrama En *versus* Al₂O₃ (Fig. 9) é possível observar a variação da porcentagem de Al₂O₃ no conjunto de ortopiroxenito de ambos os domínios. O diagrama demonstra haver ampla variação no conteúdo de alumina em metawebsteritos com maior grau de deformação e uma relativa homogeneidade em amostras com textura poligonizada. O diagrama também exibe uma linha, definida por Dick (1977), representativa da tendência geral de composição de grãos de ortopiroxenito submetidos a condições de equilíbrio variando de

baixa a alta temperatura. Desta forma, conclui-se que a ampla variação composicional do ortopiroxenito no domínio da Faixa Ribeira resulta de condições de desequilíbrios ao longo do metamorfismo, com a deformação atuando na redistribuição da alumina, de forma semelhante à descrita por Obata (1980) em peridotitos deformados de Ronda.

Como visto anteriormente, clinopiroxenito ocorre apenas em rochas do domínio Ribeira. Nestas rochas, tanto neoblastos poligonizados quanto grãos poiquiloblástico, com ortopiroxenito e anfibólio inclusos são relativamente homogêneos, com composição no campo do diopsídio (Fig. 8).

No domínio Ribeira, espinélio em metawebsteritos apresenta composição de ceylonita de acordo com Tröger (1979) e Deer *et al.* (1992). No meta-harzburgito

Figura 8 - Diagrama En-Wo-Fs (Podervart & Hess 1951) para os piroxênios analisados. À esquerda, composições de rochas cujos pontos estão sobrepostos no diagrama.

Figura 9 - Diagrama exibindo variação da porcentagem de Enstatita em relação à porcentagem de Al_2O_3 para ortopiroxênios de ambos os domínios.

constitui espinélio *sensu strictu*, com baixo conteúdo de Cr_2O_3 . No domínio tectônico da Faixa Brasília, o espinélio dos corpos piroxeníticos de São Vicente de Minas e de Carrancas é pleonasto.

A figura 10 ilustra variações de $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}$ versus $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ para o conjunto de grãos de espinélio. A relação entre estas razões passou a ser comum em estudos envolvendo espinélio desde que Irvine (1967) demonstrou que altas razões $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}$ ($> 50\%$), seriam compatíveis com geração do mineral a partir de fusões ígneas, em contraste com espinélios oriundo de rochas alpinas que apresentam ampla variação na razão Cr/Al e um intervalo restrito de Mg/Fe^{2+} . Trabalhos posteriores demonstraram, contudo, que esta razão, embora ineficaz como indicador petrogenético nos moldes definidos por Irvine, podem refletir variações da composição ao longo de processos metamórficos (Evans & Frost 1975, Dick & Bullen 1984, Sack & Ghiorso 1991, Haggerty 1991). Os resultados das amostras aqui analisadas demonstram que em ambas as regiões os grãos de espinélio apresentam razões compatíveis com produtos de metamorfismo regional. No harzburgito, espinélio simplectítico apresenta composições compatíveis com as bordas dos cristais granulares que, por sua vez, exibem aumento de MgO/FeO em direção aos núcleos.

Nas rochas provenientes do domínio da Faixa Ribeira, o conteúdo de forsterita em olivina varia entre Fo_{77} e $\text{Fo}_{93,5}$ e, no domínio tectônico da Faixa Brasília, entre Fo_{71} a Fo_{96} . As variações da porcentagem de forsterita são restritas entre grãos de uma mesma rocha, que se apresentam relativamente homogêneos. As diferenças mais relevantes ocorrem entre olivinas de litotipos distintos, refletindo a composição global (*i.e.* olivina de meta-harzburgito *versus* olivina de metawebsterito).

A análise textural revela que tais variações não estão associadas a um padrão de zoneamento núcleo-borda, mas refletem difusão de Mg na olivina durante a formação de espinélio metamórfico. Para todas as rochas analisadas, o teor de Ni da olivina independe do conteúdo de Fo (Fig. 11).

Para a maioria das amostras, a porcentagem de NiO é superior a porcentagem de MnO, compondo razões de NiO/MnO compatíveis com formação primária a partir de fusões ígneas, onde o Kd_{Ni} é superior ao Kd_{Mn} . São exceções as amostras de Arantina e da Fazenda Rui Barbosa, onde $\text{NiO} < \text{MnO}$, com razões compatíveis com olivina gerada por metamorfismo progressivo (Evans 1977). Além de apresentar alta razão $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ associada a baixo NiO e alto MnO, a olivina da Fazenda Rui Barbosa e de Arantina também não apresentam o enriquecimento de NiO em direção as bordas, que é padrão em todas as demais rochas analisadas. Tal comportamento é observado em olivina gerada por metamorfismo de serpentinito (Vance &

Figura 10 - Diagrama $\text{Cr}/\text{Cr}+\text{Al}$ versus $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ para espinélio de ambos os domínios confrontados com campos de concentração de espinélio de diferentes procedências (vide texto para referências). Em preto espinélio do domínio tectônico da Faixa Brasília; em cinza espinélio do domínio da Faixa Ribeira.

Dungan 1977). Os dados indicam, portanto, uma formação essencialmente metamórfica para a formação de olivina na Fazenda Rui Barbosa e em Arantina.

Segundo nomenclatura de Leake (1978), os anfíbios do domínio da Faixa Ribeira são hornblenda tremolítica a Mg-hornblenda para os metawebsterito e espinélio hornblendito; tremolita para os serpentinitos e clorita/anfíbio-olivina fels; e antofilita magnésiana para os ortopiroxenitos. No domínio tectônico da Faixa Brasília, tem-se: hornblenda actinolítica a hornblenda magnésiana entre os metaortopiroxenitos de Carrancas e hornblenda tremolítica em São Vicente de Minas.

DISCUSSÃO

Reações de equilíbrio das associações de alto grau

Este grupo inclui as rochas com evidências texturais (ou químicas) de crescimento metamórfico de piroxênios e olivina, passíveis de serem representadas nos sistemas $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ (CMASH) e $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ (MASH).

ZONA DO DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA

Sistema CMASH Nos metawebsteritos, constata-se que o limite termal do par anfíbio-olivina foi atingido

Figura 11 - Diagrama exibindo variação da porcentagem de Forsterita em relação à porcentagem de NiO para olivinas de ambos os domínios.

com geração simultânea de orto- e clinopiroxênio deformados, por meio de reações passíveis de ocorrerem em torno de $810 \pm 30^\circ\text{C}$ (Bücher & Frey 2002), segundo as equações (4) e (5):

Pares adjacentes de clino- e ortopiroxênio deformados exibiram resultados incoerentes, gerando equações indefinidas para o termômetro de Wells (1977), indicando disequilíbrio entre as fases. A utilização de cristais indeformados forneceu temperaturas em torno de 800°C . O geotermômetro de Sack & Ghiorso (1991) também não se mostrou aplicável a estas rochas, indicando, da mesma forma, condições de disequilíbrio para o par olivina-espinélio.

A ausência de plagioclásio, nestas rochas, permite definir os limites inferiores de pressão dos sistemas em torno de 5 kbar (Bücher & Frey 2002), de acordo com a equação (6):

Sistema MASH Nos espinélios meta-harzburgitos, a presença de espinélio associado à ortopiroxênio e olivina, define limites de pressão entre 8 e 20 kbar (O'Hara 1967, Green & Ringwood 1970), fora dos quais a fase aluminosa seria representada, respectivamente, por plagioclásio e granada. A expulsão da alumina da estrutura do ortopiroxênio e consequente formação de espinélio, por queda de temperatura, é evidenciada nestas rochas por textura simplectítica envolvendo espinélio, ortopiroxênio e olivina. Esta relação é expressa pelo equilíbrio (MacGregor 1974, Obata 1976):

onde o valor de x reflete as condições físicas do sistema.

Para as rochas aqui estudadas, as curvas de equilíbrio de Berman (1991) para esta reação indicam temperaturas variando entre 400 e 550°C , em

associações com espinélios simplectíticos, e entre 550 e 750°C, em associações com espinélios granulares. O geotermômetro de Gasparik & Newton (1984), aplicado às mesmas associações fornecem temperaturas em torno de 820°C para espinélios granulares e, em torno de 560°C para espinélios que ocorre em intercrescimentos simplectíticos. Ambos os resultados corroboram a hipótese de resfriamento, com queda de temperatura determinando o limite da solução sólida de Al no ortopiroxênio. Neste processo, os primeiros cristais gerados assumem formas compactas resultante de crescimento contínuo e, os mais tardios, hábito vermicular e composição química compatível com a borda dos cristais granulares.

Deve-se observar que, nas condições onde espinélio é estável, a adição de H₂O à associação olivina+espinélio+ortopiroxênio resulta em formação de Mg-clorita e, assim, a presença de clorita poiquiloblástica em algumas amostras de harzburgito sugere hidratação localizada, segundo a reação que define o limite máximo de ocorrência deste mineral no sistema MASH, segundo a reação (O'Hara 1967, Evans 1977):

Sendo o teor de alumina da clorita crescente com o aumento de temperatura (Jenkins & Chernosky 1986), esta reação define um geotermômetro que, quando aplicado às rochas aqui estudadas fornece temperaturas próximas de 600°C (database de Berman 1991).

Assim como entre as rochas websteríticas, o geotermômetro de Sack & Ghiorso (1991) resultou em equações indefinidas para os espinélio meta-harzburgitos, indicando condições de desequilíbrio químico.

DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA

Sistema CMASH O metamorfismo progressivo em espinélio-olivina metaortopiroxenitos do domínio tectônico da Faixa Brasília não atinge o campo de estabilidade de clinopiroxênio, mineral ausente nas rochas estudadas do domínio tectônico da Faixa Brasília, onde hornblenda+espinélio representam as fases ricas em Ca e Al. Este é caracterizado por blastese de ortopiroxênio e olivina, para a qual é fornecida a seguinte reação (Berman 1991):

A homogeneidade química das fases minerais presentes nestas rochas indica eficiência do reequilíbrio a que foram submetidas. Condições de equilíbrio são também indicadas pelo geotermômetro de Sack e Ghiorso (1991), que fornecem temperaturas em torno de 500°C para piroxenitos da Fazenda da Areia (Carrancas) e de 550°C para piroxenitos de São Vicente de Minas.

Para a associação clorita+espinélio+olivina+ortopiroxênio, as curvas do equilíbrio En+Sp+Fo+H₂O = Cl fornecem temperaturas variando entre 580 a 640°C para piroxenitos da Fazenda da Areia e de São Vicente de Minas, respectivamente.

Reações de equilíbrio para as rochas com talco e/ou antofilita (sistema MSH)

DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA RIBEIRA No sistema MgO-SiO₂-H₂O, a formação de antofilita decorre de processos intermediários da transformação talco-piroxênio:

Associações contendo antofilita se desenvolvem sob intervalos restritos de temperatura e sob condições de pressão máxima de 10 kb. O campo de coexistência de olivina e antofilita é limitado pelas reações 12 e 13. As reações 14 e 15 definem o campo de coexistência de antofilita e quartzo (Greenwood 1963, 1971, Chernosky *et al.* 1985, Bucher & Frey 2002):

Desta forma as rochas maciças constituídas por antofilita que substitui ortopiroxênio, na região da Serra da Garça, registram um intervalo de temperatura entre 650 e 800°C, atingido durante o metamorfismo retrogressivo. A hipótese de crescimento concomitante de ortopiroxênio e clorita sob grau metamórfico superior, nestas rochas, é justificada pelo baixo conteúdo de Al₂O₃ da enstatita e pelas texturas de intercrescimento entre estes minerais descritas por Almeida (1998). Tal formação “precoce” de enstatita no campo da clorita desenvolve-se em sistemas pobres em cálcio (Greenwood 1963, 1971, Smith & Riter 1997). Demais cloritas, com características texturais diversas, teriam seu desenvolvimento ao longo do caminho retrogressivo.

DOMÍNIO TECTÔNICO DA FAIXA BRASÍLIA No domínio tectônico da Faixa Brasília, a presença de talco em ocorrências isoladas ou como auréolas não xistosas entre os corpos e suas encaixantes, indica uma origem por transferência metassomática resultante de reações entre as rochas ultramáficas e suas encaixantes silicosas sob regime de metamorfismo progressivo, sob temperaturas médias em torno de 300°C, passível de atingir 500°C em presença de CO₂ (Greenwood 1963, 1971, Chernosky *et al.* 1985):

Reações de equilíbrio para os serpentinitos No domínio Ribeira, as relações texturais indicam ser os serpentinitos estudados resultantes da hidratação de protólitos granulares contendo olivina e piroxênios, processo este passível de ocorrer em amplo intervalo de temperatura: 350 a aproximadamente 650°C (Johannes 1969, Evans 1977). No domínio da Faixa Brasília, a ausência de cristais relictos ou textura *mesh*, não permitem reconhecer características da textura original. Em um dos corpos analisados (Fazenda Rui Barbosa), a blastese de olivina em serpentinitos indica que condições mínimas para a formação deste mineral foram

atingidas (= 400°C; Evans 1977), ao longo de metamorfismo progressivo. Deve-se observar que, de forma diferente das rochas da Faixa Brasília, a blastese de olivina+tremolita em clorita/anfibólio olivina fels nas rochas de Arantina, no domínio da Faixa Ribeira, está associada a um metamorfismo retrógrado, já próximo ao campo de estabilidade de clorita:

Os serpentinitos de ambas as áreas ocupam, portanto, pontos distintos ao longo do caminho metamórfico, com as rochas do domínio da Faixa Ribeira representando produtos tardios de hidratação (retrometamorfismo) e as rochas do domínio da Faixa Brasília evoluindo para uma associação de mais alto grau com geração de olivina.

Campo de estabilidade das associações minerais

Dois conjuntos quimicamente distintos são considerados: aquele formado por rochas cuja composição permite a formação de minerais cálcicos (sistema CMASH) e aquele formado por rochas onde cálcio é irrelevante (sistema MASH).

A figura 12 apresenta o campo de estabilidade atribuído às associações de minerais no sistema

Figura 12 - Campos de estabilidade de associações minerais no sistema CMASH, segundo Bücher & Frey (2002). Áreas sombreadas destacam campo de estabilidade de associações minerais encontradas em ambos os domínios. Números em parênteses indicam reações referenciadas no texto.

CMASH para rochas ultramáficas de mais alto grau de ambos os domínios.

A formação de espinélio aluminoso por expulsão de alumínio da estrutura do ortopiroxênio denotada no meta-harzburgito pela textura simplectítica entre os minerais envolvidos na reação (7) indica, como visto anteriormente, alta temperatura de cristalização para o ortopiroxênio original e liberação gradual de alumínio ao longo do resfriamento. A figura 13 ilustra as temperaturas estimadas para a evolução desta rocha com base nos geotermômetros aplicados. As curvas 7a e 7b definem, respectivamente, a temperatura máxima e mínima obtida para a associação olivina+enstatita+espinélio ao longo desta reação contínua, enquanto a curva 8 ilustra as condições de formação de clorita por hidratação localizada da rocha.

A figura 14 apresenta o campo de estabilidade para antofilita, que aparece associada ao talco em meta-ortopiroxenito da Serra da Garça, no domínio tectônico da Faixa Ribeira. O campo à direita define condições metassomáticas com adição de SiO_2 . Em ambos os casos, a presença de antofilita na associação restringe as condições de pressão a um máximo de 10 kbar no

sistema MSH. Bucher & Frey (2002) reportam a frequência de associações contendo antofilita em auréolas de contato e na fase de descompressão de rochas ultramáficas com forsterita+enstatita. Como observado na descrição petrográfica, a formação destes minerais está associada a uma fase retrógrada, com hidratação de enstatita e a possibilidade de reações metassomáticas envolvendo metamorfismo de contato deve ser, também, considerada em função da proximidade das lentes ultramáficas da Serra da Garça do maior corpo granítico da região (Fig. 2).

A tabela 7 apresenta um quadro das estimativas de pressão e temperatura para as associações de ambos os domínios e os critérios utilizados. Como pode ser observado, o domínio tectônico da Faixa Ribeira exibe uma grande variedade de rochas contendo piroxênio e olivina e que são representativas de um amplo intervalo de temperatura (entre 400 e 800°C). No domínio tectônico da Faixa Brasília, não se observa tal variedade de litotipos e as temperaturas estimadas são inferiores (entre 500 e 640°C), com incremento em direção a sul, na direção dos limites com o domínio Ribeira.

Figura 13 - Curvas de equilíbrio estimada para associações em metaespinélio harzburgito de Liberdade. Área sombreada: temperaturas máximas obtidas para a associação espinélio+olivina+ortopiroxênio. Curvas (7a) e (7b): temperaturas máxima e mínima obtidas para a reação $\text{Al-En} + x\text{Oli} = x\text{Sp} + (1+x)\text{En}$. Curva (8): temperatura obtida para formação localizada de clorita por hidratação da associação.

Figura 14 - Campos de estabilidade de antofilita (área sombreada). Números entre parêntese indicam reações referenciadas no texto.

Tabela 7 - Estimativas de pressão e temperatura para associações minerais de ambos os domínios tectônicos.

Rocha	Critério	T (°C)	P (kbar)
<i>Domínio Tectônico da Faixa Ribeira</i>			
Espinélio meta-harzburgito (Liberdade)	• Campo de estabilidade da associação sp+en+fo	-	8-20
	• Equilíbrio (Berman 1991) da associação sp+fo+en com espinélio simplectítico	(400-550)	-
	• Equilíbrio (Berman 1991) da associação sp+fo+en com espinélio granoblástico	(550-750)	-
	• % Al ₂ O ₃ em opx (Gasparik & Newton 1984) - (opx associado a espinélio simplectítico)	(560)	-
	• % Al ₂ O ₃ em opx (Gasparik & Newton 1984) - (opx associado a espinélio granoblástico)	(820)	-
	• Equilíbrio opx+ol+cl+sp (Berman 1991)	(600)	-
Metawebsterítito (Liberdade)	• Campo de estabilidade da associação cpx+opx+ol+anf+sp	-	5-14
	• Par opx-cpx (Wells 1977)	800	-
	• Temperatura mínima de quebra do par Ca-anf + fo para formação de cpx	> 800	-
Rochas a antofilita (Serra da Garça)	• Condições propícias a coexistência de ant+opx+talc	650-800	Máxima ≈ 10
Olivina clorita/ anfólio fels (Arantina)	• Condições de estabilidade da associação fo+anf+sp	< 800	Máxima = 7
<i>Domínio Tectônico da Faixa Brasília</i>			
Espinélio-olivina metaortopiroxenitos (São Vicente de Minas e Carrancas)	• Equilíbrio oli-sp (Sack & Ghiorso 1991)	500-550	-
	• Campo de estabilidade opx+sp+oli+anf	-	Máxima = 12
	• Equilíbrio oli-opx-clorita-sp (Berman 1991)	580-640	
Serpentinó (Fazenda Rui Barbosa- Carrancas)	• Formação de olivina metamórfica a partir de serpentina	Mínima de 400	-

CONCLUSÕES Ao longo do cinturão ultramáfico exposto na região sul de Minas Gerais são encontradas rochas que representam diferentes estágios do metamorfismo regional. A despeito da natureza de seu protólito, é possível traçar um paralelo entre a evolução dos litotipos do domínio tectônico da Faixa Brasília e do domínio Ribeira.

No domínio tectônico da Faixa Brasília, a ausência de clinopiroxênio entre as rochas do sistema CMASH indica que temperaturas superiores a 800°C não foram atingidas, ficando a fase cálcica restrita a anfibólios. Nestas rochas, os geotermômetros aplicados indicam temperaturas máximas de 640°C, com as rochas metapiroxeníticas de São Vicente de Minas apresentando temperaturas superiores, em torno de 50°C, em relação aos piroxenitos de Carrancas, refletindo incremento de metamorfismo na direção sudeste. No domínio da Faixa Ribeira, metapiroxenitos do sistema CMASH exibem clinopiroxênio de origem metamórfica, indicando terem estas rochas alcançado condições de temperatura superiores aos seus equivalentes do domínio tectônico da Faixa Brasília. Nesta região as temperaturas máximas obtidas concentram-se entre 700 e 900°C.

Não foi possível definir variações nas condições de pressão entre ambos os domínios. As associações e reações propostas são compatíveis com um intervalo de pressão entre 7 e 14 kbar que é propício às condições máximas de equilíbrio dos diversos litotipos, tanto nas rochas do domínio Ribeira, como no domínio tectônico da Faixa Brasília.

Diferenças de padrão também são observadas nas características da deformação das rochas metapiroxeníticas de ambas as regiões. Nos dois domínios, as rochas com associações de mais alto grau são caracterizadas pela formação de megacristais poiquiloblásticos de piroxênios. Porém, no domínio tectônico da Faixa Brasília predominam texturas granoblásticas,

com deformação localizada, enquanto que as rochas do domínio Ribeira apresentam padrões complexos de deformação com texturas indicando que o metamorfismo progressivo foi acompanhado de deformação intensa.

Mesmo entre os tipos essencialmente hidratados notam-se características contrastantes entre as duas regiões. No caso dos serpentinitos há texturas claras que indicam a formação de serpentina pela hidratação de protólitos granulares entre rochas do domínio Ribeira, enquanto a textura entrelaçada e a forma alongada dos corpos de serpentinito do domínio tectônico da Faixa Brasília são sugestivas da hidratação de rochas com granulometria originalmente muito fina. Na região de Carrancas, há um exemplo de metamorfismo progressivo de serpentinito, dado pelo crescimento metamórfico de olivina, acompanhando a evolução progressiva dos metapiroxenitos locais.

No caso das rochas ricas em talco, observa-se que as condições de formação deste mineral podem ser bastante discrepantes. Associações contendo talco+antofilita na Faixa Ribeira são formadas sob condições de temperatura superiores àquelas produzidas por reações metassomáticas entre o corpo ultramáfico e as encaixantes ácidas, comuns entre as rochas do domínio tectônico da Faixa Brasília.

Deve-se acrescentar que a formação de talco, assim como clorita, resulta não apenas da ação de fluidos ao longo de zonas de cisalhamento que cortam estes corpos, mas também de trocas iônicas entre rochas ultramáficas e encaixantes ricas em quartzo, gerando os tipos não foliados. Embora a origem destas auréolas tenha sido discutida nos trabalhos de Almeida (1992, 1998), Pinheiro & Suita (2008) atribuem à autora uma proposta de origem por metassomatismo de contato, do tipo termal, para estas auréolas. Trata-se de um erro de interpretação dos textos originais, pois a origem alóctone destes corpos ultramáficos está de acordo com as propostas de Almeida desde os seus primeiros trabalhos nestas regiões.

Referências

- Almeida S. 1992. *Petrografia e Geoquímica de Rochas Ultramáficas na Região de Liberdade e Carrancas, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 166 p.
- Almeida S. 1998. *Petrologia de rochas ultramáficas associadas ao Grupo Andrelândia e seu embasamento, na região de Liberdade, Arantina, Andrelândia, São Vicente de Minas e Carrancas, MG*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 182 p.
- Almeida S. 2002. A diversidade de texturas e associações minerais de rochas ultramáficas na região sul de Minas Gerais como resultado da atuação distinta de processos metamórficos e tectônicos ao longo da Faixa Ribeira. *Rev. Ciên. Exatas e da Terra*, **21**(2):101-113.
- Bebert C.O., Svisero D.P., Sial A.N., Meyer H.O.A. 1981. Upper mantle material in the Brazilian Shield. *Earth Sci. Rev.*, **17**:109-133.
- Berman R.G. 1991. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Can. Min.*, **75**:328-344.
- Bucher K. & Frey M. 2002. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York, Springer-Verlag, 318 p.
- Campos Neto M.C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano - Pan African cycle and orogenic collage in southeastern

- Brazil. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America – 31st IGC*. Rio de Janeiro, CPRM, p. 335-365.
- Campos Neto M.C. & Caby R. 1999. Neoproterozoic highpressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **97**:3-26.
- Campos Neto M.C., Caby R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, **19**:669-687.
- Campos Neto M.C., Basei M.A.S., Vlach S.R.F., Caby R., Szabó G.A.J., Vasconcelos P. 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem Brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE - Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, **4**:13-40.
- Campos Neto M.C., Janasi V.A., Basei M.A.S., Siga Jr. O. 2007. Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(4-Suplemento):47-60.
- Chernosky Jr. J.V., Day H.W., Caruso L.J. 1985. Equilibrium in the system MgO-SiO₂-H₂O: experimental determinations of the stability of Mg-anthophyllite. *Am. Min.*, **70**:223-236.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *An Introduction to Rock forming mineral. 2nd edition*. Charlotte, Baker & Taylor, 712 p.
- Dick H.J.B. & Bullen T. 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contr. Min. Petrol.*, **86**:54-76.
- Dick H.J.B. 1977. Partial melting in the Josefine peridotite I, the effects on mineral composition and its consequence for the geobarometry and geothermometry. *Am. Jour. Sci.*, **277**:8801-832.
- Embury J.D. & Nicholson R.B. 1965. The System Al-Zn-Mg. *Acta Metall.*, **13**:403.
- Evans B.W. & Frost. 1975. Chrome-spinel in progressive metamorphism - a preliminary analysis. *Geoch. Cosm. Acta*, **39**:959-972.
- Evans B.W. 1977. Metamorphism of Alpine peridotite and serpentinite. *Ann. Rev. Earth Plan. Sci.*, **5**:397-447.
- Fujii T. 1977. Solubility of Al₂O₃ in enstatite coexisting with forsterite and spinel. *Carneg. Inst. Washington Yearb.*, **75**:566-571.
- Gasparik T. & Newton R.C. 1984. The reversed alumina contents of orthopyroxene in equilibrium with spinel and forsterite in the system MgO-Al₂O₃-SiO₂. *Contr. Min. Petrol.*, **85**:186-196.
- Green D.H. & Ringwood A.E. 1970. Mineralogy of peridotitic composition under upper mantle conditions. *Phys. Earth Planet. Sci. Inter.*, **3**:359-371.
- Greenwood H.J. 1963. The synthesis and stability of anthophyllite. *Jour. Petrol.*, **4**:317-351.
- Greenwood H.J. 1971. Anthophyllite. Corrections and comments in its stability. *Am. Jour. Sci.*, **270**:151-154.
- Haggerty S.E. 1991. Oxide mineralogy of the upper mantle. *Rev. in Min.*, **24**:355-416.
- Hibbard M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Englewood Cliffs, Prentice Hall Ed., 587 p.
- Irvine T.N. 1967. Chromium spinel as a petrogenetic indicator, Part 2. Petrologic Applications. *Can. Jour. Earth Sci.*, **4**:71-103.
- Jenkins D.M. & Chernosky Jr. J.V. 1986. Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. *Am. Min.*, **71**:924-936.
- Jenkins D.M. 1983. Stability and compositions relations of calcic amphiboles in ultramafic rocks. *Contrib. Min. Petrol.*, **83**:375-384.
- Johannes W. 1969. An experimental investigation of the system MgO-SiO₂-H₂O-CO₂. *Am. Jour. Sci.*, **272**:423-437.
- Leake B.E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *Can. Min.*, **16**:501-520.
- MacGregor I.D. 1974. The system MgO-Al₂O₃-SiO₂: solubility of Al₂O₃ in enstatite for spinel and garnet peridotite compositions. *Am. Min.*, **59**:110-119.
- Magalhães A.C. 1985. *Geologia dos corpos ultramáficos da região entre São João del Rey e Liberdade, com ênfase especial na área de Carrancas. MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 177 p.
- Nilson A.A. 1984. O atual estágio do conhecimento dos complexos máficos-ultramáficos pré-cambrianos no Brasil: uma avaliação preliminar. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 23, *Anais*, p. 4166-4203.
- O'Hara M.J. 1967. Mineral facies in ultrabasic rocks. In: Wyllie P.J. *Ultrabasic and Related Rocks*. New Jersey, John Wiley & Sons Inc., p. 7-18.
- Obata M. & Thompson A.B. 1981. Amphibole and chlorite in mafic and ultramafic rocks in the lower crust and upper mantle: a theoretical approach. *Contrib. Min. Petrol.*, **77**:74-81.
- Obata M. 1976. The solubility of Al₂O₃ in orthopyroxenes in spinel and plagioclase peridotites and spinel pyroxenite. *Am. Min.*, **61**:804-816.
- Obata M. 1980. The Ronda Peridotite: garnet-, spinel- and plagioclase-lherzolite facies and the P-T trajectories of a high-temperature mantle intrusion. *Jour. Petrol.*, **21**(3):533-572.
- Paciullo F.V.P., Ribeiro A., Andreis R.R., Trouw R.A.J. 2000. Andrelândia Basin, a neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasília, Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**:200-202.
- Peternel R., Trouw R.A.J., Schmit R.S. 2005. Interferência entre duas faixas móveis Neoproterozóicas: o caso das Faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**:97-310.
- Pinheiro M.A.P. & Suita M.T.F. 2008. Metamorfismo de fundo oceânico e alto grau em meta-peridotitos ofiolíticos neoproterozoicos, Faixa Brasília Sul, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**:686-699.
- Poldervaart A. & Hess H.H. 1951. Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. *Jour. Geol.*, **59**:472-489.
- Ribeiro A., Paciullo F.V.P., Andreis R.R., Trouw R.A.J., Heilbron M. 1990. Evolução policíclica proterozóica no sul do Craton do São Francisco: análise da região de São João del Rei e Andrelândia, MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, *Anais*, p. 2605-2614.
- Ribeiro A., Trouw R.A.J., Andreis R., Paciullo F.V.P., Valença J.G. 1995. Evolução das bacias proterozóicas e

- termo-tectonismo brasileiro na margem sul do craton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, **25**(4):235-248.
- Sack R.O. & Ghiorso M.S. 1991. Chromian spinel as petrogenetic indicator: thermodynamics and petrological applications. *Am. Min.*, **76**:827-847.
- Schmâdicke E. & Evans B.W. 1997. Garnet-bearing rocks from the Erzgebirge, and their relation to other settings in the Bohemian Massif. *Contrib. Min. Petrol.*, **127**:57-74.
- Smith D. & Riter A.J.C. 1997. Genesis and evolution of low-Al orthopyroxene in spinel peridotites xenoliths, Grand Canyon field, Arizona, USA. *Contrib. Min. Petrol.*, **127**:391-404.
- Tröger W.E. 1979. *Optical Determination of Rock-Forming Minerals* (Part 1 - Determination Tables). Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 188 p.
- Trouw R.A.J., Ribeiro A., Paciullo F.V.P. 1986. Contribuição à geologia da folha Barbacena - 1:250.000. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, *Anais*, p. 974-986.
- Trouw R.A.J., Paciullo F.V.P., Ribeiro A. 1994. A Faixa Alto Rio Grande reinterpretada como zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, *Resumos*, p. 234-235.
- Trouw R.A.J., Heilbron M., Ribeiro A., Valeriano C.M., Almeida J.C.H., Tupinambá M., Andreis R.R. 2000. The central segment of the Ribeira Belt. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America - 31st IGC*. Rio de Janeiro, CPRM, p. 287-310.
- Vance J.A. & Dungan M.A. 1977. Formation of peridotites by deserpentinization in the Darrington and Sultan areas, Cascade Mountains, Washington. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **88**:1497-1508.
- Wells P. 1977. Pyroxene thermometry in simple and complex system. *Contrib. Min. Petrol.*, **62**:129-139.
- Manuscrito ID 20761**
Submetido em 13 de fevereiro de 2011
Aceito em 07 de fevereiro de 2012